

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra Elektroenergetiky

**Pracovní postup práce pod napětím - připojování měřicí
aparatury**
Live Works on Low Voltage—connecting measurement apparatus

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Daníček**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: Pracovní postup práce pod napětím - připojování měřicí aparatury
Live works on Low Voltage - connecting measurement apparatus

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Způsob provádění prací
Technologický postup
Rizika
Ochrana před obloukem

Seznam doporučené odborné literatury:

IEEE Standard 1584 Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations
ČSN EN 50 110-1 ed.2, Obsluha a práce na elektrických zařízeních

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tadeusz Sikora, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 30.04.2018

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne:

.....

podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval **Ing. Tadeuszi Sikorovi Ph.D.** za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce. Také bych chtěl poděkovat mým rodičům, že mi umožnili studovat na vysoké škole a za jejich podporu.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá terminologií používanou v problematice práce pod napětím. Řeší jednotlivé způsoby provádění prací na elektrickém zařízení a druhy metod práce pod napětím. V bakalářské práci upozorňuji na rizika vyskytující se při práci na elektrickém zařízení a také na zajištění ochrany před elektrickým obloukem.

Cílem mé bakalářské práce bylo zhotovit technologický postup při připojování měřicí aparatury pod napětím na napětíové hladině nízkého napětí.

Klíčová slova

Práce pod napětím; technologický postup; rizika; ochrana před elektrickým obloukem; připojení měřicí aparatury

Abstract

The bachelor thesis deals with the terminology used in the field of live work. It solves individual ways of performing work on electrical devices and types of live work methods. In the bachelor thesis, I draw attention to the risks encountered in working on electrical equipment and also to provide protection against arc-flash.

The aim of my bachelor thesis was to create a technological process for connecting the measuring equipment low voltage to the low voltage level.

Keywords

Live works; technological process, risks; arc protection; connection of measuring devices

Seznam použitých symbolů a zkratek:

PPN	Práce pod napětím
EZ.....	Elektrické zařízení
NN.....	Nízké napětí
VN.....	Vysoké napětí
ČSN.....	Česká technická norma
DS.....	Distribuční soustava
D _L	Vzdálenost definující vnější hranici ochranného prostoru
D _V	Vzdálenost definující vnitřní hranici ochranného prostoru
OP.....	Ochranný prostor
ZP	Zóna přiblížení
OOPP.....	Osobní ochranné pracovní pomůcky
BOZP.....	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
IP	Stupeň odolnosti elektrického zařízení proti vniknutí cizích těles a vniknutí kapaliny (International Protection)
C3M.....	Kombinace tří metod používané při práci pod napětím (combination of three methods)
EKG.....	Elektrokardiogram
DSO.....	Provozovatel distribuční soustavy (Distribution system operator)
MTP.....	Měřicí transformátor proudu
DIN.....	Německá průmyslová norma (Deutsche Industrie Norm)
DIN lišta	Kovová nosná lišta používaná v elektrotechnice s normalizovaným tvarem a rozměrem
PE.....	Označení vodiče, který plní funkci ochranného uzemnění (Protective Earthing)
L	Označení vodiče, který plní funkci fázového vodiče (Line)
N.....	Označení vodiče, který plní funkci nulového vodiče (Neutral)
Hz.....	Jednotka frekvence (hertz)
s	Jednotka času (sekunda)
mA.....	Jednotka elektrického proudu (miliampér)
MW	Jednotka energie (megawatt)
kV	Jednotka napětí (kilovolt)
Cm, mm.....	Jednotka délky (centimetr, milimetr)
dB	Jednotka hladiny akustického tlaku, hladina akustické intenzity zvuku (decibel)
°C	Jednotka teploty (stupeň celsia)
kPa.....	Jednotka tlaku (kilopascal)
J/cm ² , cal/cm ²	Jednotka tepelné energie elektrického oblouku (joules/cm ² , calories/cm ²)
km/h.....	Jednotka rychlosti (kilometr za hodinu)

Seznam obrázků:

Obrázek 1 - Vzdušné vzdálenosti a zóny pro pracovní postupy [3].....	5
Obrázek 2 - Ohraničení ochranného prostoru použitím izolované ochranné části[3]	5
Obrázek 3 - Dělení prací na elektrickém zařízení	7
Obrázek 4, 5 - Svornice Phoenix Contact, Typ – URTK/S-BEN, 300V, 40A, 6 mm ² ; Svornice v rozpojeném stavu, připravená k měření	11
Obrázek 6,7 - Svornice Phoenix Contact, Typ – MTK, 300V, 15A, 2,5 mm ² , (nožový kontakt); Svornice v rozpojeném stavu, připravená k měření	12
Obrázek 8 - Otevřená rozvodná skříň s fázovými vodiči, s nulovým vodičem a zemnicím vodičem ..	13
Obrázek 9 - Zkušební adaptér, typ – PAI-4-FIX-5/6BU-3035975[13].....	14
Obrázek 10 - Detail svornice s rozpojeným nožovým kontaktem a vloženým zámkem proti sepnutí [15].....	14
Obrázek 11 - Schéma zapojení svornic, a = rozpojeno, 1 = kryt, 2 = vložený můstek, 9 = přepážka, 10 = oddělovací přepážka oddílů [14].....	15
Obrázek 12 - Schematický výkres jednoduchého obvodu ke zkoušení proudových transformátorů, a = normální provoz, b = kontrola měřené hodnoty [14]	15
Obrázek 13, 14 - Otevřená rozvodná skříň s demontovaným krycím plexi sklem a připojenou měřicí aparaturou. Detail připojení Rogowského cívek kolem fázových vodičů a „krokosvorek“ připojených na měděné přípojnice.	17
Obrázek 15 - Průběh EKG a krevního tlaku před a po vzniku úrazu elektrickým proudem [9]	19
Obrázek 16 - Účinek elektrického proudu v závislosti na době jeho působení [7].....	20
Obrázek 17 - Popis zón uvedených v obrázku 16 [7].....	20
Obrázek 18 - Úraz elektrickým proudem[6]	21
Obrázek 19 - Znázornění osobních ochranných pomůcek v jednotlivých rizikových kategoriích [17]	25
Obrázek 20 - Znázornění ochranných hranic od zdroje vzniku elektrického oblouku[18]	26

Seznam použitých tabulek:

Tabulka 1 - Obsluha a práce na elektrickém zařízení dle kvalifikace osob [3].....	3
Tabulka 2 - Minimální vzdálenosti pro práci na elektrickém zařízení [3]	6
Tabulka 3 - Vztah vzdálenosti a energie oblouku [21]	22
Tabulka 4 - Přípustné dávky hluku [21].....	22
Tabulka 5 - Vyjádření následků tlakové vlny [21].....	23
Tabulka 6 - Rozdělení kategorií osobních ochranných pomůcek (PPE – Personal protective equipment) [16].....	25

Obsah

1	Úvod	1
2	Termíny a definice podnikové normy energetiky	2
2.1	Všeobecné pojmy	2
2.2	Osoby a organizace	2
2.3	Osoby vykonávající činnosti na elektrickém zařízení	2
2.4	Pracovní zóna	3
3	Rozdělení prací na elektrickém zařízení	7
3.1	Základní rozdělení prací na elektrickém zařízení	7
3.2	Práce na elektrickém zařízení bez napětí	7
3.3	Práce na elektrickém zařízení v blízkosti napětí	7
3.4	Práce na elektrickém zařízení pod napětím	7
4	Princip práce pod napětím na zařízení NN	9
5	Základní metody práce pod napětím	10
5.1	Práce na vzdálenost	10
5.2	Práce v dotyku (s izolačními rukavicemi)	10
5.3	Práce na potenciálu	10
5.4	Práce metodou C3M	10
6	Technologický postup	11
6.1	Jednotlivé kroky technologického postupu	13
7	Rizika	18
7.1	Účinky elektrického proudu na lidský organismus	18
7.1.1	Druh proudu	18
7.1.2	Reakce lidského organismu na velikost proudu	19
7.1.3	Frekvence proudu	20
7.1.4	Dráha protékajícího proudu lidským organismem	21
7.2	Působení elektrického oblouku na lidský organismus	21
7.2.1	Tepelné účinky elektrického oblouku	21
7.2.2	Zvukové vlny a záblesky	22
7.2.3	Tlaková vlna	23
8	Ochrana před elektrickým obloukem	24
9	Závěr	27
10	Seznam použité literatury	28

1 Úvod

První práce pod napětím se objevily v roce 1910 v USA. U nás se začala metoda práce pod napětím (dále jen PPN) používat v roce 1950 a jejich průkopníkem byl Ing. E. Dvořáček, CSc. Práce pod napětím je v dnešní době nezastupitelnou činností v oblasti silnoproudé elektrotechniky, která přispívá velkou částí ke značným finančním úsporám z důvodu nepřerušované dodávky elektrické energie. Negativní stránkou práce pod napětím je riziko ohrožující zdraví pracovníků. Osoby vykonávající práci pod napětím musí být speciálně vyškoleny pro tuto činnost a jejich způsobilost musí být pravidelně kontrolována.

V první části této bakalářské práci jsou definovány jednotlivé pojmy a definice používané v problematice práce pod napětím, dále co smí nebo nesmí osoby vykonávající činnost na elektrickém zařízení s určitou dosaženou kvalifikací. Také se zaměřuje na vzdušné vzdálenosti v pracovní zóně na všech napěťových hladinách.

Abychom byli schopni zařadit jednotlivé práce vykonávané na elektrickém zařízení máme obecné základní rozdělení, které je znázorněno schématem. V další části je vysvětleno, na jakém principu funguje práce pod napětím na hladině nízkého napětí v přímém dotyku.

Obecně se dá říci, že podle napěťových hladin se volí metoda používaná pro vybrané práce pod napětím a postup práce jakým se práce bude provádět.

Cílem mé bakalářské práce bylo vytvořit technologický postup při měření na rozvodné skřini nízkého napětí a požadavky na osobní ochranné pracovní pomůcky pracovníka. Také jsou popsána možná rizika spojená s měřením na rozvodné skřini pod napětím.

Závěrečná část je zaměřena na zajištění ochrany před elektrickým obloukem, vznikne-li na elektrickém zařízení při poruše, a tak minimalizovat rizika práce.

2 Termíny a definice podnikové normy energetiky

Na úvod je třeba zmínit základní definice, které se vyskytují v této bakalářské práci a jsou potřebné k vysvětlení problematiky práce pod napětím a připojení měřicí aparatury k elektrickému zařízení (dále jen EZ). V této kapitole je podle normy popsána funkce jednotlivých osob a jejich technická zdatnost pro výkon práce na elektrickém zařízení podle dosaženého vzdělání v elektrotechnice. Z bezpečnostního hlediska je potřeba znát ochranné hranice a vzdálenosti k výkonu práce na EZ a jejich zabezpečení technickými prostředky před úmyslným a neúmyslným dotykem živých částí.

2.1 Všeobecné pojmy

Z normy ČSN EN 50 110-1 jsem uvedl tyto pojmy:

Elektrická zařízení - jsou určena pro výrobu, přenos, přeměnu, rozvod a užití elektrické energie.

Elektrická instalace-veškerá elektrická zařízení, pomocí kterých vyrábíme, přeměňujeme, přenášíme a distribuujeme elektrickou energii.

Riziko -je míra poškození lidského zdraví při činnosti na elektrickém zařízení, kde se vystavujeme rizikům.

Elektrické riziko - je příčina poškození lidského zdraví nebo zranění působením elektrické energie z elektrického zařízení.

Elektrické nebezpečí - stupeň poškození zdraví od elektrického zařízení.

Zranění (způsobené elektřinou) -zranění nebo smrt způsobená působením elektrické energie, popálení elektrickým obloukem, ohněm nebo výbuchem při havárii elektrického zařízení. [3]

2.2 Osoby a organizace

Osoba odpovědná za elektrické zařízení – osoba, která má odpovědnost za bezpečný provoz elektrického zařízení a dodržování pravidel. Tato osoba může být vlastník nebo zaměstnavatel.

Osoba pověřená kontrolou elektrického zařízení během pracovní činnosti – osoba, která je odpovědná za bezpečný provoz a stav elektrického zařízení během pracovní činnosti. Dále tato osoba posuzuje možné následky pracovních činností na EZ.

Vedoucí práce – osoba odpovědná za pracovní postupy a bezpečnost práce pracujících osob na daném pracovišti.

Vedoucí pracovní skupiny – osoba podřízena vedoucímu práce, dohlíží na pracovní skupinu na příslušném elektrickém zařízení.

Provozovatel elektrického zařízení – jedná se o fyzickou osobu nebo také o právnickou osobu, jenž užívá na základě smlouvy cizí elektrické zařízení pro odebírání, distribuci či přenášení elektrické energie. Může také toto elektrické zařízení přímo vlastnit. [3]

2.3 Osoby vykonávající činnosti na elektrickém zařízení

Osoby bez elektrotechnické kvalifikace (laik) - je to osoba, která není ani znalá ani poučená, řešeno ČSN 33 1310: 1990 - Elektrotechnické předpisy. Bezpečnostní předpisy pro EZ určená k užívání osobami bez elektrotechnické kvalifikace.

Osoby s elektrotechnickou kvalifikací (i minimální) - dle souboru ČSN EN 50 110-1

Osoby seznámené - jsou to osoby, které nemají elektrotechnické vzdělání, ale pro vykonávání činnosti na EZ a v jeho blízkosti byly se zásadami bezpečnosti prokazatelně seznámeny.

Osoby poučené - jsou to osoby, které nemají elektrotechnické vzdělání, ale o zásadách poskytnutí první pomoci při úrazu elektrickým proudem a provádění činnosti na EZ a v jeho blízkosti, byly spolu se zásadami bezpečnosti prokazatelně poučeny. Odpovědná osoba daného EZ rovněž určuje rozsah poučení a případný zácvek se stanovenými lhůtami pro jejich opakování. Za osobu poučenou se také považuje osoba s elektrotechnickým vzděláním, která si neobnovila po třech letech vyhlášku 50/1978 Sb.

Osoby znalé - jsou to osoby s vystudovaným vzděláním v elektrotechnice. Jedná se o absolventy středních a vysokých škol s elektrotechnickým zaměřením či osoby vyučené v oboru. Tyto osoby nabyly toto vzdělání po prokázání znalostí teoretických bezpečnostních a provozních předpisů či praktických dovedností. Musí mít také znalosti zásad poskytování první pomoci při úrazu elektrickým proudem.

Osoby znalé s vyšší kvalifikací - osoby s odpovídající praxí a kvalifikací splňující požadavky osoby znalé. Samostatná činnost a řízení činnosti na elektrickém zařízení výroben, distribučních a přenosových soustav je stanovena dle minimální délky praxe a dosaženého elektrotechnického vzdělání dána vyhláškou 50/1978 Sb. Osoby znalé s vyšší kvalifikací mohou v rámci svého pověření provádět všechny činnosti na elektrických zařízeních mimo prací zakázaných. [3]

Tabulka 1 - Obsluha a práce na elektrickém zařízení dle kvalifikace osob [3]

Kvalifikace dle vyhláška 50/1978 Sb.	Obsluha zařízení	Práce na zařízení		
		Bez napětí	V blízkosti částí pod napětím	Pod napětím
§3 Osoba seznámená	Smí pouze do 1kV	S dohledem	Nesmí	Nesmí
§4 Osoba poučená	Smí	S dohledem	Pod dozorem	Nesmí
§5 Osoba znalá	Smí	Podle pokynů	S dohledem	Pod dozorem
§6 + §7 + §8 Osoba znalá s vyšší kvalifikací	Smí	Sama	Sama	Sama

2.4 Pracovní zóna

Pracoviště - místo kde se vykonává práce na elektrickém zařízení

Zóna přiblížení - oblast omezená hranicí ochranného prostoru hodnotou D_L a zóny přiblížení D_V (obrázek 1, tabulka 2).

Ochranný prostor; prostor pro práce pod napětím - oblast okolo živých částí pod napětím ohraničená hodnotou D_L (obrázek 2, tabulka 2).

Bezpečná vzdálenost - vzdálenost větší než zóna přiblížení označena hodnotou D_V .

Pracovní postup - jednotlivé etapy pracovních činností potřebné k výkonu práce a zajištění ochrany před úrazem elektrickým proudem a ostatními účinky elektřiny s využitím OOPP.

Pracovní postup pro PPN - popis jednotlivých fází pracovního postupu, který je předem ověřený k provedení požadované práci. Tento pracovní postup je zpracován písemně nebo přímo na pracovišti podle toho na jakém zařízení a za jakých podmínek se bude pracovat. Pracovní postupy a jeho fáze lze kombinovat, s důrazem na bezpečnost.

Jednotka ochrany -jednotka stupně je dána vzdušnou vzdáleností, nebo vlastnostmi použitých pomůcek sloužící k ochraně proti úrazu elektrickým proudem nebo zkratem při PPN.

Ochranná zábrana (elektricky) - část, která slouží k zabránění neúmyslnému dotyku živých částí, ale nebrání před úmyslným dotykem živých částí.

Ochranná přepážka (elektricky) - část sloužící k zajištění ochrany před přímým dotykem živých částí z jakéhokoliv předpokládaného směru přístupu k EZ.

Ochranný kryt - je to předmět z izolačního materiálu, s požadovanou mechanickou a chemickou odolností proti vnějším vlivům, používanou k ochraně před neúmyslným dotykem živých částí.

Kryt- část odolná proti vnějším vlivům, sloužící také jako ochrana před nebezpečným dotykem živých částí ze všech směrů.

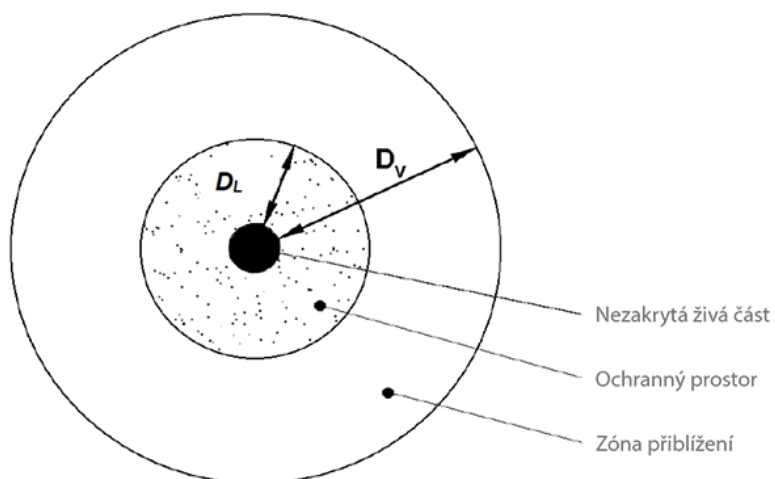
Izolační zakrytí - mechanicky odolný izolační materiál, sloužící k zakrytí živých částí, pro zajištění ochrany před nebezpečným neúmyslným dotykem.

Elektricky izolační příkrývka - izolační pružný materiál, používaný k zakrytí vodivých částí, které jsou pod napětím, nebo uzemněné.

Ochrana zábranou - používá se k zabránění nebezpečného přiblížení nebo dotyku živých částí. Tato zábrana není součástí EZ. V prostorách přístupných osobám bez elektrotechnické kvalifikace se tato zábrana provede uzavřením, uzamčením nebo neodnímatelným ohrazením.

V prostorách přístupných pouze osobám s elektrotechnickou kvalifikací se ochrana zábranou vytvoří uzavřením, ohrazením, zábrana může být odnímatelná, představující např. provaz, tyč, mříž, zábradlí apod.

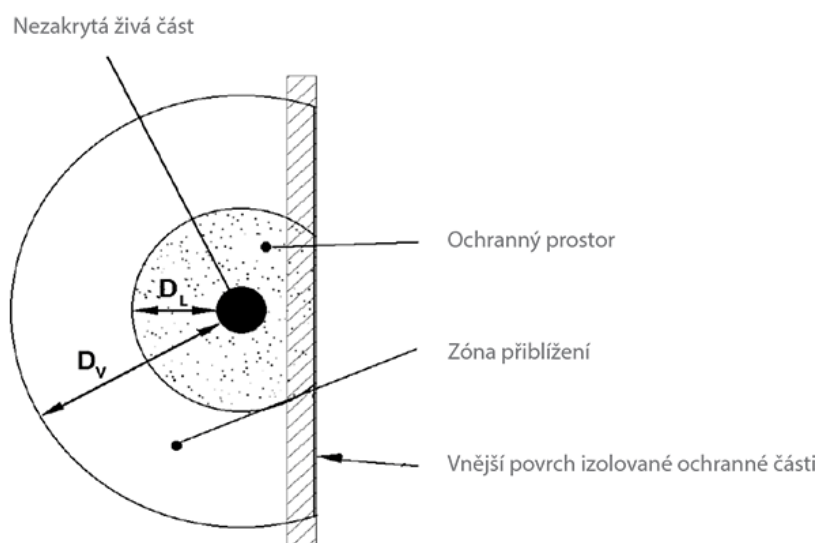
Ochrana přepážkami a kryty - slouží k ochraně před nebezpečným dotykem živých i neživých částí, a dalších nebezpečných částí EZ. Přepážky a kryty musí splňovat minimální stupeň elektrické ochrany IP20. Horní vodorovné povrchy přepážek a krytů musí splňovat minimální stupeň krytí IP40. Přepážky a kryty musí být schopné odolávat konkrétním podmínkám, kde budou používány, a musí také splňovat požadované mechanické vlastnosti. K demontáži krytů a přepážek je nutné použít klíče nebo nářadí k tomu určené, případně je zařízení vybaveno samočinným odpojením od zdroje při odstranění krytu nebo přepážek. [3]



D_L – Vzdálenost definující vnější hranici ochranného prostoru

D_V – Vzdálenost definující vnější hranici zóny přiblížení

Obrázek 1 - Vzdušné vzdálenosti a zóny pro pracovní postupy [3]



D_L – Vzdálenost definující vnější hranici ochranného prostoru

D_V – Vzdálenost definující vnější hranici zóny přiblížení

Obrázek 2 - Ohraničení ochranného prostoru použitím izolované ochranné části[3]

Tabulka 2 - Minimální vzdálenosti pro práci na elektrickém zařízení [3]

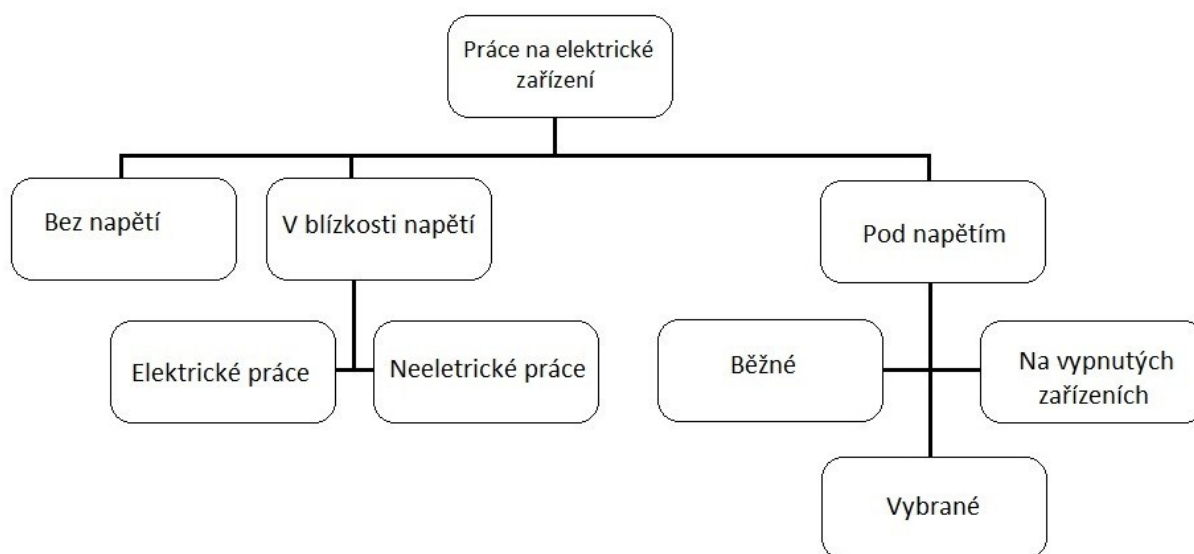
Jmenovité napětí soustavy U_N (kV)	Vnější hranice ochranného prostoru (mm)		
	D_L Základní vzdálenost (mm)	D_{LS} Snížené vzdálenosti (mm)	Vnější hranice zóny přiblížení D_V (mm)
do 1 kV	-	-	1000
do 10 kV	500	300	2000
22	800	400	2000
35	900	500	2000
110	1500	1100	3000
220	2500	2100	3000
400	3600	3200	4600

3 Rozdělení prací na elektrickém zařízení

Abychom mohli nějakým způsobem rozlišit a zařadit práce na elektrickém zařízení je třeba vědět v jakém stavu se konkrétní EZ nachází. Například jestli je odpojeno od zdroje napětí nebo nikoliv. Dále jestli je práce na EZ technologicky náročná a zda se vyskytuje riziko úrazu elektrickou energií.

3.1 Základní rozdělení prací na elektrickém zařízení

Práce na EZ lze rozdělit na jednotlivé skupiny podle obrázku. (Obrázek 3)



Obrázek 3 - Dělení prací na elektrickém zařízení

3.2 Práce na elektrickém zařízení bez napětí

Je to taková práce na EZ, kde se předpokládá, že EZ je odpojeno od zdroje napětí a je zajištěné proti opětovnému zapnutí. Patří zde také práce na EZ, které ještě nebylo připojeno ke zdroji napětí z důvodu výstavby EZ. Dále práce bez napětí na EZ, které není v blízkosti jiného zařízení pod napětím a nemůže se na něm vyskytovat indukované napětí. Práce na EZ se provádí při spolehlivě odpojeném od všech zdrojů možného napájení. [2]

3.3 Práce na elektrickém zařízení v blízkosti napětí

Patří zde takové práce, kdy osoba pracující na EZ se nachází uvnitř zóny přiblížení (dále jen ZP), nebo zasahuje částmi svého těla nebo náradím, se kterými pracuje do ZP, ale nezasahuje do ochranného prostoru (dále jen OP). [2]

3.4 Práce na elektrickém zařízení pod napětím

Jsou to všechny práce na EZ pod napětím, kdy osoba vykonávající práci na EZ je ve styku s živými částmi nebo v jeho těsné blízkosti, a nebo zasahuje částmi svého těla nebo náradím a předměty se

kterými pracuje do OP. Práce pod napětím vyžadují použití pracovních postupů obsahujících návod na udržování nářadí, výstroje přístrojů v dobrém stavu včetně jejich ověření před započetím práce. [2]

4 Princip práce pod napětím na zařízení NN

Jednoduchým a základním principem práce pod napětím na zařízení nízkého napětí (dále jen NN) je práce v dotyku. Pro tyto účely je přizpůsobeno všechno nářadí a pomůcky, které se při práci pod napětím používají jako například dielektrické rukavice, dielektrické kryty a koberce. Princip práce pod napětím na zařízení NN metodou v dotyku, lze popsat Ohmovým zákonem. Proud, který poteče pracovníkem při výkonu práce, závisí přímo úměrně velikosti napětí a nepřímo úměrně velikosti odporu. Velikost napětí je pevně dána distribuční soustavou, z toho tedy plyne, že proud můžeme omezit pouze velikostí odporu. Velikost odporu lidského těla se uvádí přibližně 2000Ω , ale tato hodnota je velmi orientační, protože závisí na mnoha dalších faktorech:

- na délce dráhy již proud projde,
- na psychickém stavu osoby, což může mít za následek zvýšení vlhkosti pokožky,
- na jemnosti pokožky,
- na vnějších podmínkách jako je vlhkost a teplota okolí.

Uvažujeme-li tedy o odporu lidského těla $2000\ \Omega$ bude při napětí $400\ \text{V}$ tělem bez osobních ochranných pomůcek procházet proud o velikosti $0,2\ \text{A}$. Velikost střídavého proudu do $3,5\ \text{mA}$ není lidskému organismu nebezpečný, ale hodnota větší než $3,5\ \text{mA}$ může lidskému organismu uškodit. Musíme tedy hodnotu střídavého proudu $0,2\ \text{A}$ snížit pod hranici $3,5\ \text{mA}$, to zajistíme připojením dalšího odporu do obvodu. Tento odpor představuje dielektrické osobní ochranné pomůcky a dielektrické nářadí.

5 Základní metody práce pod napětím

Pro práci pod napětím potřebujeme znát jakou metodou budeme práci provádět. Obecně lze říci, že metoda se volí podle napěťové hladiny daného elektrického zařízení, na kterém se bude pracovat.

5.1 Práce na vzdálenost

Metoda PPN na vzdálenost, je metoda při které osoba pracuje s izolovaným nářadím. Při této činnosti jí umožňuje zůstat v bezpečné vzdálenosti od živých částí. Minimální vzdálenosti hodnoty D_L jsou předepsané v tabulce 2 viz. výše. Je-li na pracovišti rozepnutý odpojovač nebo odpínač, posuzuje se vzdálenost k jeho části, která zůstává pod napětím. Při PPN na vzdálenost lze použít vodivé žebříky a neizolované plošiny. [2]

5.2 Práce v dotyku (s izolačními rukavicemi)

Při této metodě je osoba vykonávající práci na EZ v přímém mechanickém styku s živými částmi, při kterém její ruce jsou elektricky chráněny izolačními rukavicemi, případně doplněnými izolačními rukávy. Pro zvýšení bezpečnosti se při práci používá izolované ruční nářadí a vhodná izolace proti zemi.[2]

5.3 Práce na potenciálu

Metoda práce pod napětím, při které osoba vykonává práci v přímém dotyku s živými částmi pod napětím, které mají potenciál těla a vhodnou izolaci proti okolí. Osoba vykonávající práci touto metodou se považuje jako součást EZ, a tak je přísně zakázáno této osobě házet jakékoliv nářadí z důvodu bezpečnosti, kdy může dojít k přeskoku elektrického oblouku.[2]

5.4 Práce metodou C3M

Kombinace tří zmíněných metod práce při jednom pracovním postupu. Používá se u pracovních postupů při práci na zařízení venkovních sítí VN.[2]

6 Technologický postup

Všechny činnosti spojené s měřením na elektrickém zařízení mají za úkol zjistit konkrétní fyzikální veličiny daného EZ. Měření je prováděno osobou s odpovídající kvalifikací dle schváleného pracovního postupu. Pro měření je nutné použít vhodné a k dané činnosti určené měřicí přístroje, u kterých se před použitím musí zkontrolovat funkčnost a je-li to nutné, tak i po použití. Existuje-li nebezpečí dotyku s živými částmi, musí mít osoba vykonávající měření osobní ochranné pomůcky. Nutností je dodržovat opatření na ochranu před zraněním elektrickým proudem a před účinky zkratu a elektrického oblouku.

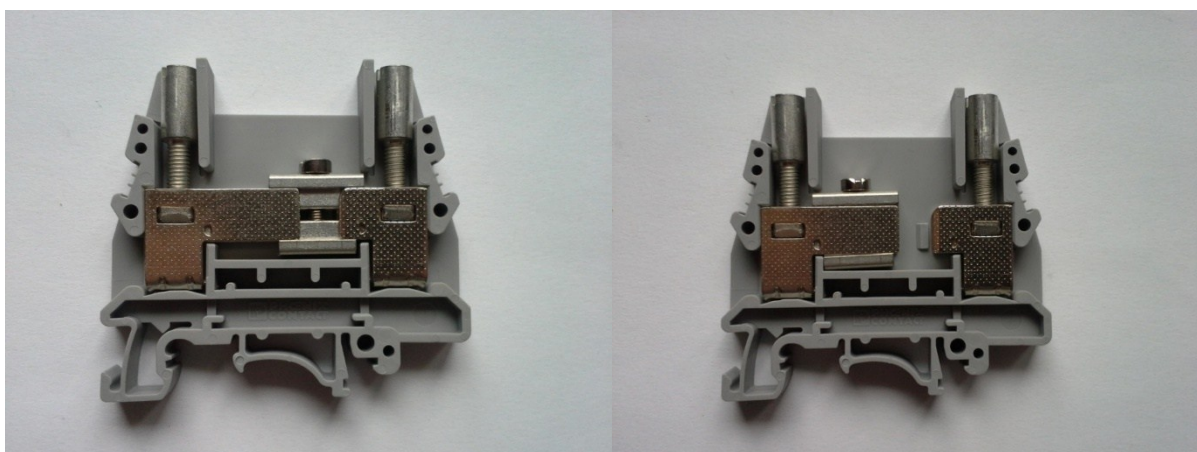
Osoby znalé a znalé s vyšší kvalifikací v rozsahu §5 – 10 vyhlášky č.50/1978 Sb., mohou vstupovat do objektů elektrických provozoven distribuční soustavy, (dále DSO) samostatně po splnění všech požadavků a odpovídající praxe na základě vykonávané činnosti. Před prvním vstupem do objektu elektrické provozovny DSO musí být osobou zodpovědnou za elektrické zařízení (vlastník EZ), seznámeny s těmito pravidly:

- s bezpečnostními riziky a specifiky daného objektu, kde se nachází únikové východy,
- s umístěním osobních ochranných pracovních prostředků (dále jen OOPP),
- s umístěním prostředků první pomoci a možnosti pro přivolání první pomoci.

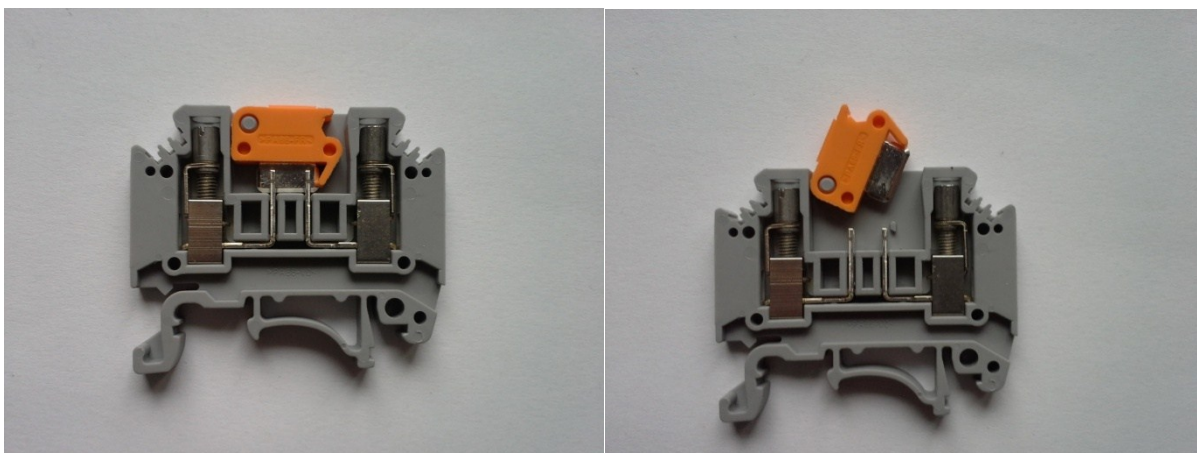
Vedoucí práce musí zajistit, aby osoby vykonávající práci byly podrobně seznámeny s průběhem práce před jejím zahájením, s pracovními riziky a podmínkami ukončení práce.

Máme-li povolení ke vstupu do objektu a povolení k provedení práce, osoba s odpovídající kvalifikací přistoupí k rozvaděči, otevře rozvodnou skříň a vyhodnotí danou situaci. Pro měření velkých proudů v rozsahu přibližně od 10 A do 2500 A používáme měřicí transformátory proudu (dále jen MTP). Pro menší proudy přibližně do 10 A se používají klasické měřicí přístroje například ruční multimetr. Měření napětí do 690 V se měří klasickými měřicími přístroji (multimetrem) a od tohoto napětí výše použijeme měřicí transformátory napětí (dále jen MTN).

Měřicí transformátory a ruční měřicí přístroje se používají převážně při osazení rozvodné skříně svornicemi, kde je možné přístroj připojit na příslušné svorky. Na obrázcích 4, 5, 6 a 7 můžeme vidět dva různé typy svornic, které můžeme nalézt v rozvodné skříní.



Obrázek 4, 5 - Svornice Phoenix Contact, Typ – URTK/S-BEN, 300V, 40A, 6 mm²; Svornice v rozpojeném stavu, připravená k měření



Obrázek 6,7 - Svornice Phoenix Contact, Typ – MTK, 300V, 15A, 2,5 mm², (nožový kontakt); Svornice v rozpojeném stavu, připravená k měření

Svornice jsou v rozvodné skříni upevněné pomocí DIN lišty, naskládané těsně vedle sebe, popřípadě rozděleny přístrojovými přepážkami podle použití a určení jednotlivých oddílů v rozvodné skříni. Pro připojení proudového obvodu měření slouží dva kovové kontakty nacházející se z pravidla mezi rozpojovacím systémem dané svornice. Do těchto kontaktů připojíme „banánky“ pro měření proudu. Při sepnutém rozpojovacím vypínači proud prochází od jednoho kontaktu přes vypínací kontakt k druhému kontaktu. Při připojeném měřicím přístroji to znamená, že proud neprochází přes měřicí přístroj, protože proud teče nejkratší cestou nejmenšího odporu. Musíme tedy před začátkem měření tento kontakt rozpojit, popřípadě zajistit proti opětovnému sepnutím zámkem k tomu určeným výrobcem dané svornice, abychom zajistili bezproblémový průběh měření a proud tek l přes měřicí přístroj.

Druhou variantou, se kterou se můžeme setkat v rozvodné skříni jsou fázové vodiče, nulový vodič a zemnicí vodič. U této varianty je nutné použít Rogowského cívky pro měření proudu, kterými lze obejmout silové vodiče. Pro měření napětí máme z měřicího přístroje vyvedeny kabely zakončené „krokosvorkou“, které nám umožňují připojit se na neizolovanou část měděné přípojnice. Tento případ můžeme vidět na obrázku 8, kde v otevřené rozvodné skříni v její horní části je regulační výkonová elektronika, v prostřední a spodní části rozvodné skříně se nachází silové vodiče připojené na měděné přípojnice pomocí kabelových ok. Na spodní hraně rozvodné skříně můžeme vidět zemnicí přípojnic, kde je připojený zemnicí vodič PE (Protective Earthing). Silové vodiče s neizolovanými přípojnici jsou kryté plexi sklem. Abychom mohli připojit měřicí přístroj a dostat se tak k živým částem, musíme tento plexisklový kryt demontovat.



Obrázek 8 - Otevřená rozvodná skříň s fázovými vodiči, s nulovým vodičem a zernícím vodičem

6.1 Jednotlivé kroky technologického postupu

Při měření na rozvodné skříní NN osazeném svornicemi se postupuje následovně:

- **Kontrola a posouzení podmínek pracoviště**
Vedoucí práce kontroluje, zda EZ, na kterém se má pracovat je přístupné a jeho části jsou přehledné. Musí být volná úniková cesta, dostatečně osvětlený prostor pracoviště nebo jestli se nenachází v místě pracoviště, kde se předpokládá vznik elektrického oblouku nějaké hořlavé materiály.
- **Označení a zajištění místa práce**
Označení se provádí hlavně tam, kde může dojít k záměně pracoviště, a to tabulkou „JEN ZDE PRACUJ“. Dalšími opatřeními mohou být ohraničení pracovního prostoru uzavírací páskou nebo výstražnými tabulkami s nápisem „PRÁCE POD NAPĚTÍM“, aby nedošlo k nechtěnému vstupu do prostoru s živými částmi pod napětím.
- **Kontrola a příprava vybavení**
Vedoucí práce s osobou pověřenou k zajištění pracoviště, provede kontrolu všech bezpečnostních opatření a následně může dát povel k zahájení práce. Pracovník si nachystá nářadí a vybavení, které budu potřebovat pro práci na EZ.
- **Připojení ručního měřicího přístroje nebo MTP na svorky svornice pro měření proudu**
Pokud „banánky“ od měřicích kabelů nepasují do svornice, musí pracovník použít zkušební adaptér doporučený výrobcem daných svornic. (obrázek 9)

- **Připojení ručního měřicího přístroje nebo MTN na svorky vedlejších svornic pro měření napětí**

Pracovník připojí měřicí přístroj tak, že jeden vodič měřicího přístroje připojí do jedné svorky svornice jedné fáze a druhý měřicí vodič připojí na svorku svornice, která je připojená na druhou fázi. Tím pracovník změří sdružené napětí. Pro měření fázového napětí musí pracovník připojit jeden měřicí vodič ke svorce svornice konkrétní fáze a druhý měřicí vodič k zemní svorce.

- **Rozpojení svornice pro měření a vložení zámku sepnutí** (obrázek 5, 7 a 10)

Pracovník rozpojí kontakt svornice a zajistí průchod proudu měřícím přístrojem.

- **Samotné měření**

- **Vyjmutí zámku sepnutí a spojení svornice pro ukončení měření**

Pracovník zajistí, že proud neprochází přes měřicí přístroj, a tak nemůže dojít k „vytažení“ případného elektrického oblouku při vysouvání „banánků“ z kovových kontaktů.

- **Vypojení měřících kabelů ze svornice**

- **Kontrola naměřených hodnot**

- **Ukončení práce**

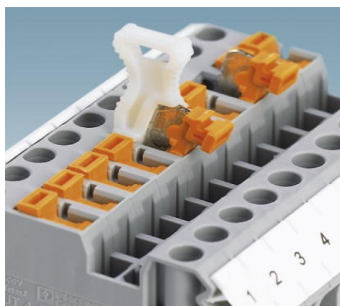
Pracovník provede úklid nářadí a materiálu, a uvede EZ do původního nebo požadovaného stavu. Zruší označení a zajištění místa práce, odstraní všechny výstražné tabulky a ochranné prostředky, které zajišťovaly pracoviště.

Požadavky na vybavení pracovníků OOPP:

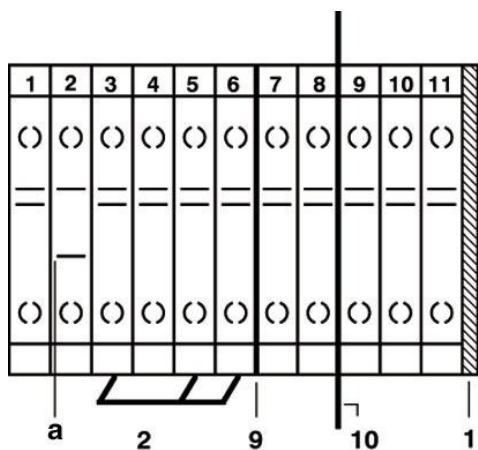
- Dielektrické rukavice třídy 0 s mechanickou ochranou
- Dielektrická přilba včetně ochranného štítu
- Nechořlavý pracovní oděv
- Dielektrická obuv
- Dielektrické nářadí pro PPN
- Měřicí přístroje a příslušenství k tomu určené



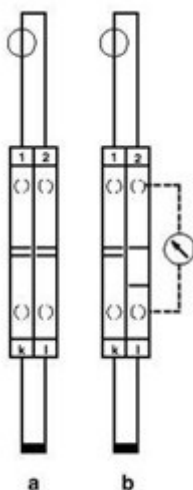
Obrázek 9 - Zkušební adaptér, typ – PAI-4-FIX-5/6BU-3035975[13]



Obrázek 10 - Detail svornice s rozpojeným nožovým kontaktem a vloženým zámkem proti sepnutí [15]



Obrázek 11 - Schéma zapojení svornic, a = rozpojeno, 1 = kryt, 2 = vložený můstek, 9 = přepážka, 10 = oddělovací přepážka oddílů [14]



Obrázek 12 - Schematický výkres jednoduchého obvodu ke zkoušení proudových transformátorů, a = normální provoz, b = kontrola měřené hodnoty [14]

Při měření na rozvodné skříni NN s fázovými vodiči, nulovým vodičem a zemnicím vodičem se postupuje následovně:

- **Kontrola a posouzení podmínek pracoviště**
- Vedoucí práce kontroluje, zda EZ, na kterém se má pracovat je přístupné a jeho části jsou přehledné. Musí být volná úniková cesta, dostatečně osvětlený prostor pracoviště nebo jestli se nenachází v místě pracoviště, kde se předpokládá vznik elektrického oblouku nějaké hořlavé materiály.
- **Označení a zajištění místa práce**
- Označení se provádí hlavně tam, kde může dojít k záměně pracoviště, a to tabulkou „JEN ZDE PRACUJ“. Dalšími opatřeními mohou být ohraničení pracovního prostoru uzavírací páskou nebo výstražnými tabulkami s nápisem „PRÁCE POD NAPĚTÍM“, aby nedošlo k nechtěnému vstupu do prostoru s živými částmi pod napětím.

- **Kontrola a příprava vybavení**
- Vedoucí práce s osobou pověřenou k zajištění pracoviště, provede kontrolu všech bezpečnostních opatření a následně může dát povel k zahájení práce. Pracovník si nachystá nářadí a vybavení, které budu potřebovat pro práci na EZ.
- **Demontáž krycího plexi skla** (obrázek 13)
Tímto máme přístup k živým částem, a můžeme připojit proudové a napětové senzory.
- **Připojení Rogowského cívek, pro měření proudu kolem fázových vodičů** (vodiče L1, L2, L3, obrázek 14)
- **Připojení „krokosvorek“ na jednotlivé fáze a na nulový vodič pro měření napětí** (vodiče L1, L2, L3 a N, Obrázek 14)
- **Samotné měření**
- **Odpojení „krokosvorek“**
- **Rozpojení a sundání Rogowského cívek**
- **Kontrola naměřených parametrů**
- **Montáž krycího plexi skla**
- **Ukončení práce**
Pracovník provede úklid nářadí a materiálu, a uvede EZ do původního nebo požadovaného stavu. Zruší označení a zajištění místa práce, odstraní všechny výstražné tabulky a ochranné prostředky, které zajišťovaly pracoviště.

Požadavky na vybavení pracovníků OOPP:

- Dielektrické rukavice třídy 0 s mechanickou ochranou (případně izolační rukávy)
- Dielektrická přilba včetně ochranného štítu
- Nehořlavý pracovní oděv
- Dielektrická obuv
- Dielektrické nářadí pro PPN
- Měřicí přístroje a příslušenství k tomu určené



Obrázek 13, 14 - Otevřená rozvodná skříň s demontovaným krycím plexi sklem a připojenou měřicí aparaturou. Detail připojení Rogowského cívek kolem fázových vodičů a „krokosvorek“ připojených na měděné přípojnice.

Pro oba pracovní postupy platí pokud hrozí nebezpečí dotyku s živými částmi, musí osoba vykonávající měření mít povinné OOPP a dodržovat opatření na ochranu před účinky elektrického proudu, účinky zkratu, zemního spojení a elektrického oblouku.

7 Rizika

Při provádění jakékoliv lidské činnosti hrozí vznik rizikových situací, které nás mohou ohrozit na zdraví nebo i na životě. Rizika nelze zcela vyloučit, lze je určitými opatřeními a jejich respektováním minimalizovat na přijatelnou úroveň.

V oblasti elektrotechniky nelze zcela vyloučit přímý zásah elektrického proudu. Při pracovních postupech práce pod napětím na EZ jej nikdy nelze zcela vyloučit ani provedením jakýchkoliv technických nebo organizačních opatřeních. Toto riziko je možné zcela vyloučit pouze jedním způsobem, a to prováděním prací na vypnutém a zajištěném EZ, pak se ale nejedná o PPN.

Dále hrozí popálení osob tepelnými účinky oblouku zkratového proudu nebo zemního spojení, zvukové vlny a záblesky působící na pracující osobu vlivem zkratu a vzniku elektrického oblouku. Je třeba dodržet základní bezpečnostní opatření k minimalizování rizika. Při práci udržovat pořádek a čistotu, řídit se bezpečnostními tabulkami, používat přidělené OOPP, nepoužívat nevhodné nebo poškozené OOPP, soustředit se na vykonávanou práci, dodržovat příkazy a nařízení BOZP a nepřeceňovat vlastní schopnosti.

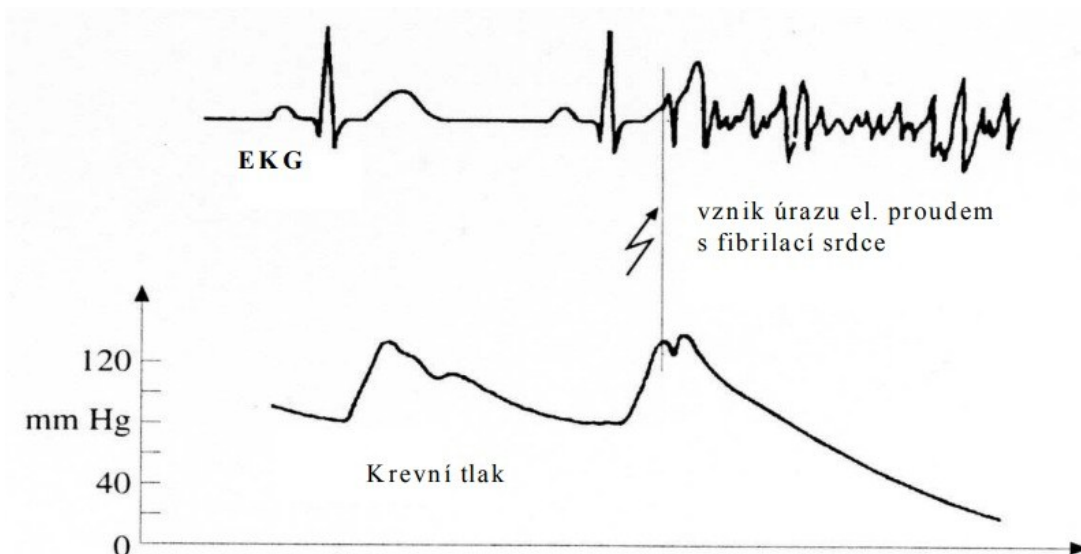
Laické veřejnosti je známo, že úraz elektrickým proudem může být v některých případech i smrtelný. Při působení elektrického oblouku na lidský organismus vzniká jiný druh rizika úrazu. Při hoření elektrického oblouku není nutný fyzický kontakt osoby se živými částmi zařízení a hrozí zde působení velmi vysoké teploty. Stojí-li osoba v blízkosti jeho hoření, tak je osoba vystavena ohrožující situaci. Vysoká teplota elektrického oblouku je také doprovázena účinky tlakové vlny, intenzitou hluku, záblesky atd.

7.1 Účinky elektrického proudu na lidský organismus

Účinek elektrického proudu na lidský organismus závisí na druhu proudu, velikost proudu, frekvenci proudu, impedanci lidského těla, dráze tekoucího proudu lidským tělem, době průchodu proudu, fyziologickém stavu a psychickém stavu organismu a velikosti dotykového napětí.

7.1.1 Druh proudu

Stejnoseměrný proud je obecně považovaný za méně nebezpečný než proud střídavý. Následky působení stejnosměrného proudu, tak i střídavého proudu způsobují rozklad krve a svalové křeče, což vede k neschopnosti okysličování organismu a k zástavě dýchání. Střídavý proud navíc od určité hranice způsobuje fibrilaci srdce, která vede k zástavě srdeční činnosti. Prochází-li střídavý proud zasaženým tělem o frekvenci 50 Hz, snaží se srdce přizpůsobit frekvenci protékajícího proudu. To má za následek nesprávnou činnost srdce, které funguje jako krevní pumpa a dochází tak pouze ke chvění srdce tzv. fibrilaci. V nejhorším případě dojde k úplné zástavě činnosti srdce. Na následující obrázku můžeme vidět srdeční činnost a průběh krevního tlaku před a po vzniku úrazu elektrickým proudem, který je zaznamenán pomocí elektrokardiogramu.



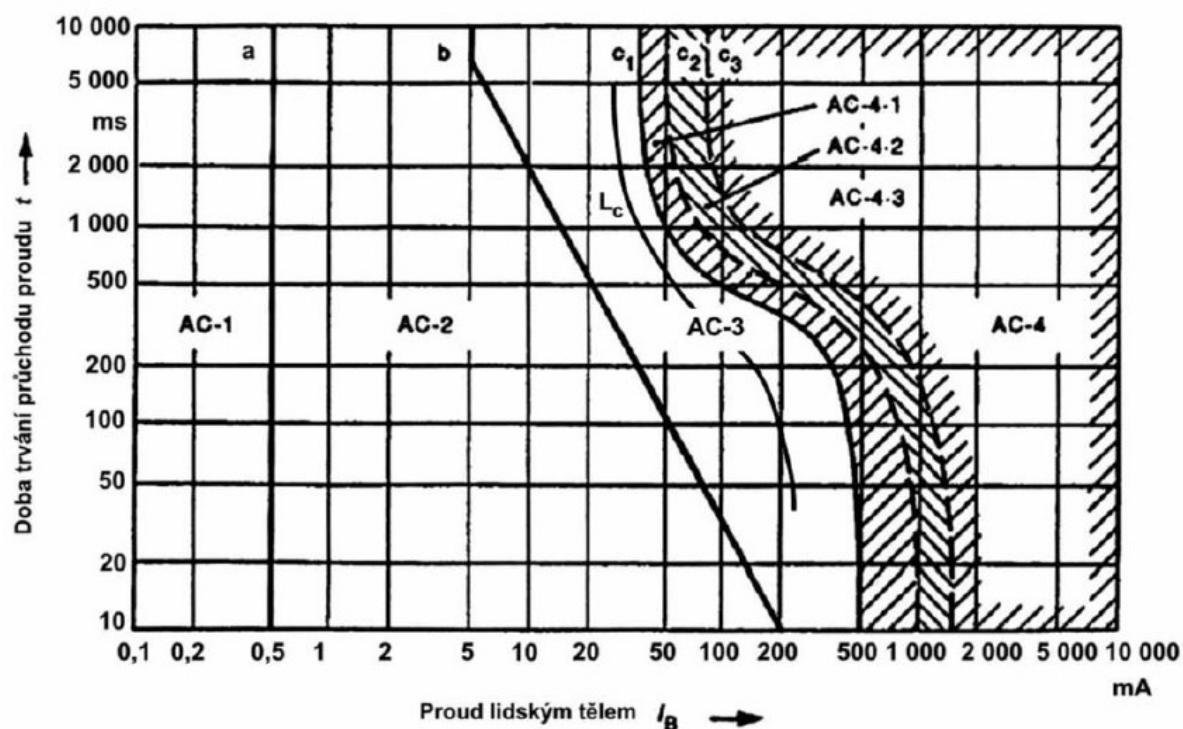
Obrázek 15 - Průběh EKG a krevního tlaku před a po vzniku úrazu elektrickým proudem [9]

7.1.2 Reakce lidského organismu na velikost proudu

Velikost procházejícího proudu lidským organismem je přímo úměrný účinku elektrického proudu. Po dlouhodobém zkoumání byly stanoveny velikosti proudu, které nejsou nebezpečné pro lidský organismus u zdravého jedince. Pro stejnosměrný proud se udává velikost 10 mA a pro proud střídavý v rozsahu frekvence 10 až 100 Hz je to 3,5 mA. Je-li proud vyšší než uvedené hodnoty, může být pro lidský organismus nebezpečný.

0,5 až 1 mA	- práh vnímání elektrického proudu,
1 až 8 mA	- podráždění v nervech, stoupaní krevního tlaku,
6 až 15 mA	- způsobuje tetanickou křeč, člověk se nemůže uvolnit,
25 mA	- tetanická křeč dýchacího svalstva,
60 mA	- chvění srdeční komory (fibrilace), přechodná zástava srdce,
nad 80 mA	- zpravidla trvalá zástava srdce.

Proud o hodnotě do 3 mA vyvolává v těle, zejména v místech vstupu do těla, nepříjemné pocity mravenčení až brnění. Tento proud není nebezpečný, působí-li po krátkou dobu. Při zvyšování proudu nad hodnotu 3 mA se začnou svírat svaly, hlavně kolem místa pod napětím, které člověk drží v ruce nebo se ji dotýká jinou částí těla. Při hodnotě protékajícího proudu lidským organismem kolem 10 mA se zvýší sevření natolik, že není možné se samovolně uvolnit a nastává tedy nebezpečný stav. Tento stav může nastat například při proražení izolace ručního nářadí. Všechny hodnoty, které jsou uvedeny výše, platí pro střídavý proud o frekvenci 50 Hz, který působí přibližně po dobu 5s. Kromě prahu vnímání jsou uvedené mezní hodnoty větší, ale za předpokladu působení proudu po kratší dobu než uváděných 5s. Na následujícím obrázku můžeme vidět účinek elektrického proudu, působící po danou dobu.



Obrázek 16 - Účinek elektrického proudu v závislosti na době jeho působení [7]

Označení zóny	Mezní hodnoty zóny	Typické fyziologické účinky
AC-1	Do 0,5 mA, tj. do čáry a	Obvykle bez reakce
AC-2	Od 0,5 mA až k čáře b	Obvykle bez škodlivých fyziologických účinků Neúmyslné svalové stahy
AC-3	Od čáry b až ke křivce c ₁	Obvykle bez škod na organismu. Pravděpodobnost křečovitých stahů a obtíží při dýchání.
AC-4	Počínaje křivkou c ₁	K účinkům v zóně AC-3 se mohou zvyšovat se velikostí proudu a prodlužující se dobou jeho průchodu přidat nebezpečné patofyziologické účinky jako zástava srdce, dechu a závažná popálení
AC-4.1	c ₁ až c ₂	Pravděpodobnost ventrikulárních fibrilací [*] až u 5 % lidí zasažených elektrickým proudem
AC-4.2	c ₂ až c ₃	Pravděpodobnost ventrikulárních fibrilací až u 50 % lidí zasažených elektrickým proudem
AC-4.3	Za křivkou c ₃	Pravděpodobnost ventrikulárních fibrilací u více než 50 % lidí zasažených elektrickým proudem

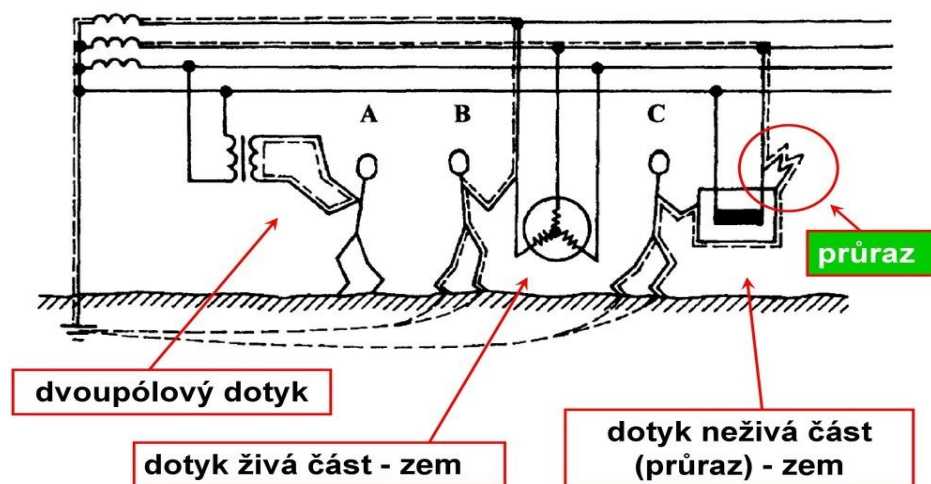
Obrázek 17 - Popis zón uvedených v obrázku 16 [7]

7.1.3 Frekvence proudu

Frekvence v pásmech 10 – 100 Hz a 200 – 500 Hz jsou nebezpečné, protože se nejvíce blíží k tepové frekvenci srdečního svalu.

7.1.4 Dráha protékajícího proudu lidským organismem

Proudová dráha určuje, kudy poteče elektrický proud tělem, a jaký to bude mít dopad na lidský organismus. Proud procházející drahou hlava-noha, hlava-ruka je velmi nebezpečná, protože prochází přes mozkové centrum zasažené osoby, dále proudová dráha levá ruka-pravá ruka a levá ruka-levá noha a to z důvodu, že proud prochází přímo srdeční oblastí zasažené osoby. Následující obrázek schematicky znázorňuje konkrétní případy úrazu elektrickým proudem.



Obrázek 18 - Úraz elektrickým proudem[6]

7.2 Působení elektrického oblouku na lidský organismus

7.2.1 Tepelné účinky elektrického oblouku

Elektrický oblouk patří mezi nejteplejší objekt, který se vyskytuje na naší planetě hned vedle laseru. Teplota jeho sloupce na povrchu může dosáhnout až 7000 K (6726,85 °C), pro srovnání teplota povrchu Slunce je přibližně 5800 K (5526,85 °C). Teplota lidského těla je přibližně 36,5 °C, pokud je teplota už jen o něco málo vyšší řádově v desítkách °C, může v průběhu několika hodin nastat selhání životních funkcí. Teplota nad 70 °C znamená pro buněčnou stavbu pokožky velké nebezpečí, při působení této teploty se mohou buňky nenávratně zničit během několika sekund. Z toho plyne, že elektrický oblouk působící na lidský organismus z hlediska tepelných účinků je velice nebezpečný. Míra zranění osoby vyskytující se v blízkosti elektrického oblouku, udává vzdálenost osoby od oblouku, velikost energie, kterou hořící oblouk uvolní. Tuto míru (velikost) zranění můžeme dělit na popáleniny vyléčitelné a nevyléčitelné. U vyléčitelných je působící teplota do 46 °C u nevyléčitelných je to hranice do 62 °C. Následující tabulka udává bezpečné vzdálenosti podle vzniku vyléčitelných a nevyléčitelných popálenin v závislosti na energii hořícího oblouku.

Tabulka 3 - Vztah vzdálenosti a energie oblouku [21]

Vzdálenost (cm)	Energie oblouku (MW)	
	Vyléčitelné zranění	Nevyléčitelné zranění
50	5,2	7
61	7,5	10
76,2	11,8	16
81,4	17	23
152,4	47	64
304,8	189	256

7.2.2 Zvukové vlny a záblesky

Na začátku zapálení elektrického oblouku dochází k výraznému akustickému „prasknutí“, které je způsobeno rychlým zahřátím okolního vzduchu, ve kterém oblouk hoří. Mechanismus vzniku zvukové vlny je shodný jako u hromu, který je projevem bleskového výboje.

Pro lidský sluch představuje největší nebezpečí právě impulzivní hluk. Lidský sluch se není schopen těmto zvukům přizpůsobit a jsou pro člověka velmi bolestivé. Neblahý účinek tohoto intenzivního zvukového projevu je právě jeho neočekávatelnost a jeho vysoká intenzita. Osoba vykonávající činnost na EZ, může být touto zvukovou vlnou paralyzována a následně ztratit orientaci a v krajním případě může dojít k okamžité ztrátě sluchu. Zvuková vlna doprovázející zapálení elektrického oblouku může dosáhnout hodnoty až 160 dB.

Další negativní účinek je působení ostrého intenzivního záření z hořícího elektrického oblouku na lidský zrak osoby. Toto záření vede ke krátkodobé ztrátě zraku a tedy k dezorientaci zasažené osoby. V následující tabulce jsou zobrazeny limitní časy pro vystavení lidského ucha dané intenzitě hluku.

Tabulka 4 - Přípustné dávky hluku [21]

Ekvivalentní hladina akustického tlaku A (dB)	Limit pro expozici nechráněného sluchu		
	Hodiny	Minuty	Sekundy
85	8		
88	4		
91	2		
94	1		
97	-	30	
100	-	15	
103	-	7	30
106	-	3	45
109	-	1	53
↓	↓	↓	↓
130 - 140	-	-	-

7.2.3 Tlaková vlna

Následkem vysoké teploty elektrického oblouku je kromě zvukového projevu také tlaková vlna. U velkých obloukových výbojů mohou dosahovat i stovky kPa. Z toho plyne, že tlaková vlna způsobena elektrickým obloukem je schopna poškodit sluch, kdy dojde k prasknutí ušních bubínků, dále k poškození plic a ve výjimečných případech, kdy je tlaková vlna opravdu silná může dojít k úmrtí. Tlaková vlna je dále spojena s možností rozstříku utaveného šrapnelu (např. kousky přípojníc), který může zasáhnout a zranit osobu pracující na EZ. Rychlost těchto šrapnelů může dosáhnout až 1600 km/h. V tabulce můžeme vidět vliv přetlaku tlakové vlny na člověka.

Tabulka 5 - Vyjádření následků tlakové vlny [21]

Přetlak v čele tlakové nádoby (kPa)	Dopady na člověka
16,5	Poškození ušních bubínků 1%
19,3	Poškození ušních bubínků 10%
34,5	Poškození ušních bubínků 50%
43,5	Poškození plic
100	Úmrtí 1%
121	Úmrtí 10%
141	Úmrtí 50%
176	Úmrtí 90%
200	Úmrtí 100%

8 Ochrana před elektrickým obloukem

Abychom mohli určit vhodnou ochranu proti elektrickému oblouku, musíme provést analýzu rizika při vzniku elektrického oblouku. Analýza rizika při vzniku elektrického oblouku by měla být provedena ve spojení nebo jako pokračování studie zkratu a studie nastavení ochranných zařízení. Tento postup a metodologie výpočtu zkratového proudu spolu s nastavením ochranných zařízení jsou zašitány normami (IEEE Std 141-1993 a IEEE Std 242-2001).

Výsledky analýzy rizika při vzniku elektrického oblouku se používají ke zjištění bezpečné vzdálenosti, která ochrání osoby v případě nehody, které se nachází v jeho blízkosti nebo pracují na blízkém zařízení. Výsledek analýzy je pak uveden na štítku, který je umístěn na příslušném EZ. Z analýzy dále vychází potřebné OOPP pro pracovníky vykonávající práci na elektrickém zařízení. Kde hrozí nebezpečí vzniku elektrického oblouku jsou pracovníci povinni je používat.

Norma IEEE standard 1584 Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculation je určena k tomu, aby poskytovala předlohu pro výpočet obloukové energie a elektrického oblouku. Po výpočtu mohou být tyto informace použity jako základ pro vypracování strategií, jejichž cílem je minimalizace popálenin. Postupy zahrnují specifikaci kategorií osobních ochranných prostředků. Potenciálně nebezpečné účinky elektrického oblouku jsou: rozstříknutí roztaveného kovu, projektily, tlakové impulzy a vedlejší produkty toxického oblouku. Faktor ochrany OOPP a oblečení se vztahuje na zasažení energií po 1/10 sekundy, které může mít za následek druhý stupeň popálenin holé kůže pod oblečením nebo ochranným vybavením. Faktor ochrany je stejný pro oblečení, ochranné kukly i průzory. Energie zasažení elektrickým obloukem je přímo úměrná času, pokud se zdvojnásobí doba vystavení, energie při zasažení povrchu se také zdvojnásobí. Dopadová energie se snižuje úměrně ke čtverci vzdálenosti. Při vzdalování od zdroje obloukového výboje se tepelná energie absorbovaná tělem velmi rychle snižuje. Pokud máte volbu pracovat v blízkosti elektrického zařízení, nebo se držet zpátky a zvolíte druhou variantu i pokud to může být méně pohodlné, dojde-li k elektrickému výboji, budete zasaženi tepelnou energií o menší intenzitě. Platí to však i opačně. Pokud budete muset pracovat v bezprostřední blízkosti elektrického zařízení, dopadová energie se bude rapidně zvyšovat, čím více se budete blížit potenciálnímu zdroji elektrického výboje. Systém oblečení (vícevrstvé oblečení), které zahrnuje vnější vrstvu z ohnivzdorného materiálu a vnitřní vrstvu z neohnivzdorného materiálu, zadrží více tepla, a tedy sníží zasažení těla tepelnou energií až o 50% než jediná vrstva. Efekt zkombinování těchto několika vrstev oblečení lze označit jako efektivní ochranný faktor, ale pokud dojde k dosažení vyšší energie oblouku, než jaký je ochranný faktor OOPP, může dojít k průrazu. Při průrazu se ochranné ohnivzdorné oblečení propálí, začne se drolit a rozpadat. Jakmile k tomu dojde, hořlavé spodní vrstvy oblečení se vznítí. OOPP používané pro ochranu před elektrickým obloukem není určena k tomu, aby zabránila všem zraněním, ale aby maximálně zmírnila dopad elektrického oblouku na pracovníka, pokud k němu dojde. Části zařízení, které jsou pod napětím a pracovník s nimi může přijít do kontaktu, musí být odpojeny od napájení dříve, než pracovník začne pracovat na zařízení nebo v jeho blízkosti. Výjimku představují případy, kdy zaměstnavatel prokáže, že vypnutí zařízení je zdrojem dalšího či zvýšeného rizika nebo jeho vypnutí není možné z konstrukčních či provozních důvodů. Mohou však nastat případy, kdy práce na vypnutém zařízení není možná, například měření napětí nebo jiná diagnostická práce na bateriích, které nelze odpojit. V následující tabulce jsou znázorněny jednotlivé kategorie osobních ochranných pomůcek používané ve Spojených státech amerických, závislé na velikosti tepelné energie elektrického oblouku, která se udává v jednotkách J/cm² nebo cal/cm². (tabulka 6) Na obrázku 19 jsou pro názornost zobrazeny

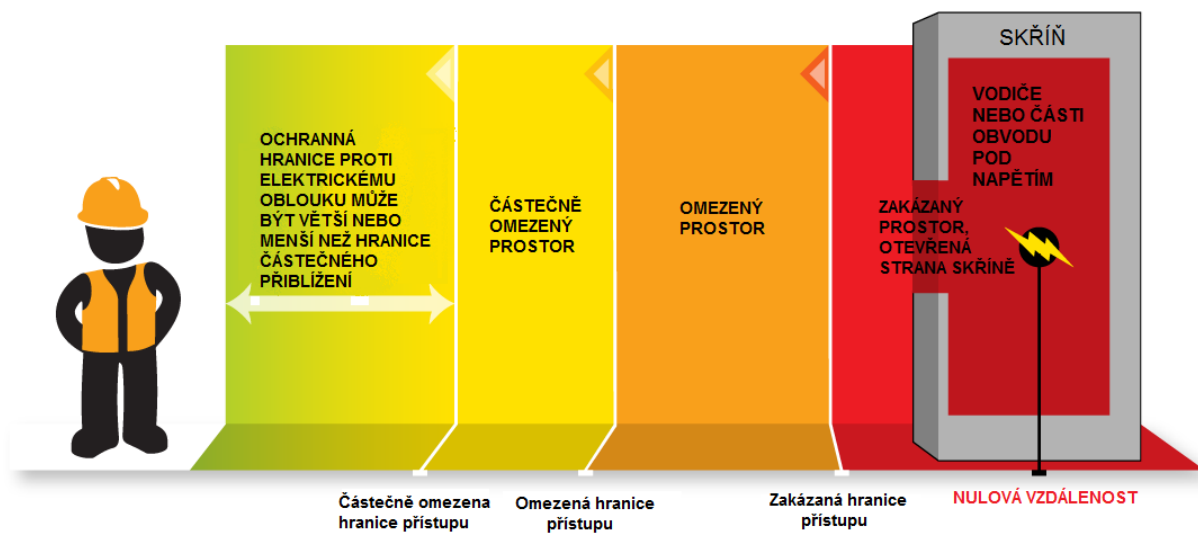
OOPP pro danou rizikovou kategorii. A následující obrázek 20 znázorňuje ochranné hranice od potenciálního vzniku elektrického oblouku na EZ.

Tabulka 6 - Rozdělení kategorií osobních ochranných pomůcek (PPE – Personal protective equipment) [16]

PPE Category 1 Minimum arc rating between 4 and 8 cal/cm ²	<ul style="list-style-type: none"> • Arc rated, flame-resistant long sleeve shirt and pants or coveralls • Arc rated face shield with wrap-around guarding or hood • Arc rated jacket, parka, rain wear or hard hat liner (as needed) • Flame-resistant hard hat • Flame-resistant safety glasses or goggles • Hearing protection (ear canal inserts) • Heavy duty leather gloves (optional leather gloves protectors with insulating rubber gloves) • Leather work shoes (as needed)
PPE Category 2 Minimum arc rating between 8 and 25 cal/cm ²	<ul style="list-style-type: none"> • Arc rated, flame-resistant long sleeve shirt and pants or coveralls • Arc rated, face shield with wrap-around guarding or flash suit hood, with balaclava • Arc rated jacket, parka, rain wear or hard hat liner (as needed) • Flame-resistant hard hat • Flame-resistant safety glasses or goggles • Hearing protection (ear canal inserts) • Heavy duty leather gloves (optional leather gloves protectors with insulating rubber gloves) • Leather work shoes (footwear)
PPE Category 3 Minimum arc rating between 25 and 40 cal/cm ²	<ul style="list-style-type: none"> • Arc rated, flame-resistant long sleeve shirt and pants and coveralls (selected so that the system arc rating meets the required minimum) • Arc rated arc flash suit including jacket, pants, hood (rating level as required) • Arc rated gloves (rating level as required) • Arc rated jacket, parka, rain wear or hard hat liner (as needed) • Flame-resistant hard hat • Flame-resistant safety glasses or goggles • Hearing protection (ear canal inserts) • Heavy duty leather gloves (optional leather gloves protectors with insulating rubber gloves) • Leather work shoes (footwear)
PPE Category 4 Minimum arc rating 40 cal/cm ²	<ul style="list-style-type: none"> • Arc rated, flame-resistant long sleeve shirt and pants and coveralls (selected so that the system arc rating meets the required minimum) • Arc rated multi-layered flash suit jacket (selected so that the system arc rating meets the required minimum) • Arc rated flash suit pants (rating level as required) • Arc rated flash suit hood (rating level as required) • Arc rated gloves (rating level as required) (optional leather gloves protectors with insulating rubber gloves) • Arc rated jacket, parka, rain wear or hard hat liner (as needed) • Flame-resistant hard hat • Flame-resistant safety glasses or goggles • Hearing protection (ear canal inserts) • Leather work shoes (footwear)



Obrázek 19 - Znázornění osobních ochranných pomůcek v jednotlivých rizikových kategoriích [17]



Obrázek 20 - Znázornění ochranných hranic od zdroje vzniku elektrického oblouku[18]

9 Závěr

Každý elektrotechnicky vzdělaný člověk by měl znát rizika, která hrozí při práci na elektrickém zařízení, popřípadě jejich dopad na lidský organizmus. Všeobecně platí, že střídavý proud, který teče dráhou přes srdce nebo mozek je velmi nebezpečný, protože zásadně ovlivňuje základní životní funkce člověka. Dalším významným rizikem při práci na zařízení pod napětím, je vznik elektrického oblouku a jeho destruktivní následky na lidský organizmus. Naštěstí máme k dispozici velmi účinné OOPP, které co nejvíce minimalizují dopad elektrického oblouku na osobu při nehodě, pokud k ní dojde.

Cílem mé bakalářské práce bylo zhotovit technologický postup pro práci pod napětím při připojování měřicí aparatury na hladině nízkého napětí. Tento technologický postup není běžnou součástí podnikových norem energetiky nebo českých technických norem, protože se jedná o běžnou práci pod napětím, tedy nejedná se o technicky složitou práci, a tak není nutné předložit postup práce. Tento technologický postup jsem vypracoval za předpokladu, kdy provozovatel (vlastník) elektrického zařízení bude tento postup požadovat.

Další část této bakalářské práce se věnuje ochraně před elektrickým obloukem, kde je rozebráno, jak vzdálenost od elektrického oblouku ovlivňuje intenzitu působení obloukové energie na pracující osobu. V příslušných tabulkách a obrázcích jsou znázorněny jednotlivé kategorie osobních ochranných pracovních pomůcek, které nám slouží k vhodnému zvolení OOPP pro danou činnost na EZ, které je schopno vyvinout určitou poruchovou energii při daných parametrech zařízení.

I přes poměrně velká rizika, vysoké náklady na školení a vybavení pracovníků, metoda PPN umožňuje velké úspory z pohledu distribučních společností, ale také z pohledu konečných zákazníků. Proto mají metody PPN nezastupitelnou roli v distribučním sektoru, ale také do budoucna k rozsáhlejšímu využití metod PPN na vyšších napěťových hladinách.

Tato bakalářská práce by mohla sloužit odborné veřejnosti s elektrotechnickou kvalifikací při výkonu práce na elektrickém zařízení na hladině nízkého napětí, aby eliminovala rizika.

10 Seznam použité literatury

I. Normy, předpisy a směrnice

- [1] IEEE Standard 1584, *Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations*, 2002
- [2] ČSN EN 50 110-1 ed.2, *Obsluha a práce na elektrickém zařízení*
- [3] PNE 33 0000-6, *Obsluha a práce na elektrických zařízeních pro přenos a distribuci elektrické energie*. 3. Vydání. ČR: ČEPS, ČEZ Distribuce, E.ON Czech, PRE distribuce, 2016.
- [4] NFPA70E, *Standard for Electrical Safety in the Workplace*, 2012
- [5] MARVA, Ing. Jaromír a Ing. Stanislav KOUBEK. *Pravidla vstupu do objektů elektrických provozoven ČEZ Distribuce, a. s.* 2012.
- [6] ČSN 33 2000-4-41 ed. 2 *Ochrana před úrazem elektrickým proudem*. 2007.

II. Internet

- [7] *Účinky napětí a proudů na látky, materiály a lidský organismus* [online]. [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/343>
- [8] *Práce pod napětím* [online]. [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/408>
- [9] MEDUNA, Ing. Vladimír a Ing. Ctirad KOUDELKA. *Účinky elektrického proudu na lidský organismus. Katedra elektrotechniky* [online]. Ostrava, 2006, březen 2006 [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/prednasky/pred_ZEP/Ucinky%20el.%20proudu.pdf
- [10] ŠŤASTNÝ, CSC. A KOLEKTIV, Ing. Vítězslav. *Pravidla pro provádění prací pod napětím (PPN)*. <https://www.energetikainfo.cz> [online]. 2010, 17. 3. 2010 [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: https://www.energetikainfo.cz/33/pravidla-pro-provadeni-praci-pod-napetim-ppn-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EvTRUDW-RlnxIPMCIkG461oCD-vMUnwPlw/?uri_view_type=32
- [11] *Pravidla vstupu do objektů elektrických provozoven ČEZ Distribuce, a. s.* ČR, 2012. Dostupné také z: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-dodavatele/standardy/standardy.html>
- [12] WHITE, Jim. *Vyvrácení mýtů a spekulací ohledně obloukového výboje. Údržba podniku* [online]. Shermco Industries, 2011, 23.03.2011 [cit. 2018-04-12]. Dostupné z:

[http://udrzbapodniku.cz/index.php?id=47&no_cache=1&tx_ttnews\[tt_news\]=3835&cHash=bedd32ba64&type=98](http://udrzbapodniku.cz/index.php?id=47&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=3835&cHash=bedd32ba64&type=98)

[13] Zkušební adaptér - PAI-4-FIX-5/6 BU - 3035975. *Phoenixcontact* [online]. [cit. 2018-04-18].

Dostupné z: <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/cz/?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=3035975&library=czcs&pcck=P-15-07&tab=1&selectedCategory=ALL>

[14] Svornice Phoenix Contact, Typ - URTK/S-BEN. *Phoenixcontact* [online]. [cit. 2018-04-18].

Dostupné z: <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/cz/?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=0309086&library=czcs&pcck=P&tab=1&selectedCategory=ALL>

[15] Zámek sepnutí - S-MT - 3247954. *Phoenixcontact* [online]. [cit. 2018-04-18]. Dostupné z:

<https://www.phoenixcontact.com/online/portal/cz/?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=3247954&library=czcs&pcck=P-15-07&tab=1&selectedCategory=ALL>

[16] Rozdělení kategorií osobních ochranných pomůcek (PPE – Personal protective equipment). *National Innovation. Local Implementation*. [online]. [cit. 2018-04-18]. Dostupné z:

http://msamc.org/arcflash/Arc_Flash_Overview_print.html

[17] Znázornění osobních ochranných pomůcek v jednotlivých rizikových kategoriích [online]. [cit. 2018-04-18]. Dostupné z:

https://www.google.cz/search?rlz=1C1MSIV_enCZ771CZ771&biw=1920&bih=900&tbm=isch&sa=1&ei=LXjMWrtAF8m3kwXy2IqoBQ&q=arc-flash+ppe+category&oq=arc-flash+ppe+category&gs_l=psy-ab#imgsrc=Hqey0pvaeLtOFM:

[18] Znázornění ochranných hranic od zdroje vzniku elektrického oblouku. *Control-logic* [online].

[cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <http://www.control-logic.com.au/blog/wp-content/uploads/2017/01/diagram.png>

III. Jiné práce

[19] Doc. Ing. Václav Vrána CSc., Bezpečná činnost na elektrických zařízeních, 10/2006

[20] HOMOLA, Tomáš Práce pod napětím na zařízení nízkého napětí [online]. Plzeň, 2011 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/31kbob/>. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Laurenc, CSc.

[21] VAVŘÍČEK, Petr. Analýza rizika při vzniku elektrického oblouku [online]. Ostrava, 2015 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/fhhw72/>. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky. Vedoucí práce Petr Krejčí.

Seznam příloh

1. Seznam doporučeného nářadí pro práce PPN
2. Názorné obrázky v praxi v USA

Příloha 1 – Tabulka nářadí a pomůcek používané pro PPN v kabelových skříních

Sada nářadí a pomůcek pro provádění PPN v kabelových skříních

1	momentový klíč ½“	13	kabelový nůž rovný
2	prodlužování nástavec (125 nebo 250mm)	14	izol. příkrývky (400x500 6ks a 1000x800 1ks)
3	sada nástrčných hlavíc (13,14,16,17,18,19)	15	izolační kolíčky (14ks)
4	sada nástrčných hlavíc (imbus 5,6,8)	16	kryty na konce žil
5	sada šroubováků	17	kryty na pojistkové spodky (4ks)
6	T – klíče (5,6,8,)	18	kryty na přípojnice
7	komb. kleště celoizolované	19	kryt na přípojnicí PEN (2ks)
8	úzké kleště celoizolované	20	izolační koberec
9	kabelové kleště	21	bočník jednofázový
10	izolační štětec	22	bočník třífázový
11	blokovací klíč (13,16,17,18,19)	23	propojovací souprava

Příloha 2 – Ukázka měření pomocí Rogowského cívek, připojené na měřicí přístroj značky Fluke.



Příloha 2.1 – Detail připojení Rogowského cívek kolem vodičů pro měření proudu a připojení krokosvorek na kabelové oko pro měření napětí.



Příloha 2.2 – Názorná ukázka štítku, který je umístěný na elektrickém zařízení

